

테프론 막 재료의 흡음특성 및 적용효과 연구

Sound Absorption Characteristics and Application Effect of PTFE Membrane Material

김정중† · 정정호* · 손장열**

Jung Joong Kim, Jeong Ho Jeong and Jang Ryul Shon

(2007년 2월 8일 접수 ; 2007년 3월 23일 심사완료)

Key Words : PTFE(poly terra ethylene) Membrane Material(테프론 막 재료), Sound Absorption Coefficient(흡음률), Air Permeability(공기투과도)

ABSTRACT

Following the 2002 World-Cup held in Korea, studies have been actively conducted on plans to utilize all-weather stadiums of fine figures, where large-scale spaces are available for various utilizations. In Japan, dome-type stadiums have been built and are utilizing across the whole nation not only for sports events but also variety of other large-scale events. PTFE(poly tetra fluoro ethylene) is one of the membrane material mainly used for the outer ceiling surface of membrane structures. However, there has not been enough research on the acoustical properties of PTFE membrane material which has been widely used in the multi-purpose stadiums. In this study, air permeability values and sound absorption coefficient of PTFE membrane materials were measured and evaluated in the gymnasium. From the results of measurements of sound absorption coefficient and air permeability of inner membrane materials, it was found that the sound absorption coefficient was good in the air permeability range of 5~15 cc/cm²/s. Also the relation ship between air permeability and sound absorption coefficient was very high and the sound absorption coefficient was the highest in the range of 6~9 cc/cm²/s. Secondly, an analysis on the measurements sound absorption characteristics of inner membrane material reveals that the overall sound absorption coefficient was stabilized(higher than 0.5 throughout the whole frequency bands)when the air space behind the membrane material was deeper than 600 mm. When PTFE sound absorptive membrane material was installed in the ceiling of gymnasium, it was confirmed that sound absorptive membrane material can reduce reverberation and increase speech intelligibility in the gymnasium.

1. 서 론

2002년 월드컵 개최를 계기로 다용도로 활용될 수

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 건축대학
E-mail : hwankyug@hwankyug.co.kr
Tel : (02) 508-3352, Fax : (02) 508-3353

* 정희원, 방재시험연구원

* 정희원, 한양대학교 건축대학

있는 경기장이 건설되고 있다. 최근에 건설된 각종 경기장은 경관과 함께 대규모 공간을 효율적으로 활용하기 위한 전천후 경기장의 특징을 살려 건설되고 있다. 일본에서는 이미 돐형의 경기장들이 많이 지어져 스포츠경기 뿐만 아니라 각종 대형이벤트 행사에 많이 활용되고 있다. 돐 경기장과 같은 전천후 경기장의 건설을 위해서는 기둥이 없는 대규모 공간을 구성하기 위한 막 구조의 적용이 필수적이다. 막

구조 구성을 위해 다양한 막 재료가 사용되고 있으나 최근 PTFE(poly tetra fluoro ethylene)가 많이 사용되고 있다. PTFE 막 재료가 적용된 대표적인 경우로는 서울, 인천, 대구 월드컵 경기장이 있다. 막 재료는 외기와 빗물의 침투를 막아주는 외막과 경기장 내부에 면하도록 설치되는 내막으로 구성된다.

그러나 막 구조 설치 시 막 구조에 의해 형성되는 내부 공간의 음향특성을 고려하지 않고 외막만 설치하는 경우 내부로 반사되는 반사음의 제어가 어려워 음향장애현상이 발생된다. 이와 같이 경기장 내부의 음장을 제어하기 위해서는 경기장 내부에 설치되는 내막재료의 흡음성능을 향상시키는 것이 가장 효율적인 방안이다. 그러나 막 재료가 적용되는 구조를 고려하여 흡음성능을 평가할 수 있는 방법이 확립되어 있지 않은 실정이다.

이 연구에서는 막 재료 사용구조를 고려한 흡음성능 평가를 위해 흡음률 측정방법으로 KSF 2805:2002⁽¹⁾ 기준을 고찰하여 잔향실에서 흡음률을 측정하고, 공기투과도(ISO 9237:1995⁽²⁾), ASTM D 737-04⁽³⁾, 밀도, 그리고 공기층의 변화에 대한 흡음률 특성을 조사하는데 목적이 있다. 또한 막 구조의 성능 검증에 위해 실내경기장에 적용하였을 경우의 음장제어 효과를 조사하였다.

2. 막 구조 특성의 측정방법

2.1 PTFE 막 재료의 흡음률 측정

일반적으로 흡음성능을 평가하기 위해서는 재료가 설치되는 구조 및 조건을 최대한 재현하도록 규정되어 있다. 막 재료의 흡음성능을 정량적으로 평가하기 위해서는 막 재료가 설치되는 구조에 대한 고찰이 필요하다. 막 구조는 외막과 내막으로 구성되며 외막의 경우 경기장 지붕의 외피역할을 하며 대기 중에 노출되고 내막은 경기장 내부의 마감재료로 사용된다. 막 구조 전체의 흡음성능을 평가하기 위해서는 이와 같은 외막과 내막을 모두 설치한 구조를 대상으로 하여야 한다. 잔향실법 흡음률 측정방법을 기준으로 할 경우 측정대상 잔향실의 표면에는 내막재료가 노출되도록 설치하여야 하며, 외막재료 배후에도 대기 또는 대기와 같은 흡음률을 갖는 공간 또는 재료를 설치하여야 할 것이다. 외막재료의 배후에 반사면이 배치될 경우 막 재료를 투과하여 전달

된 에너지가 반사되어 배후공간의 크기에 따라 특정 주파수 대역의 흡음률이 증가 또는 감소하게 되어 적절한 흡음성능 평가가 불가능하다.

이 연구에서는 잔향실에서의 흡음률 측정방법을 응용하였으며, Fig. 1과 같이 내막과 외막(R_w 값이 21 dB, 500 Hz~1,000 Hz 투과손실(15~17 dB))이 설치되는 공간을 형성하고, 외막 배후의 대기에 의한 흡음을 모사하기 위하여 그라스울(30 cm)을 외막하부와 잔향실 바닥 상부에 충전하여 흡음성능을 평가하였다.

Fig. 2는 잔향실에서의 막 재료 흡음성능 평가를 위한 시험체 설치 과정을 나타낸다. 시험체의 크기는 2.5×4 m였으며, 측정대상 잔향실의 용적은 295 m³이었다.

PTFE 막 재료의 흡음특성 측정은 시험체 설치 유무에 따라 Fig. 3에서와 같이 중앙점을 포함한 5 지점에서 잔향시간을 5회 이상씩 측정하여 흡음계수를 계산하였다.

통기성과 밀도가 서로 다른 PTFE 내막재료 16가지에 대하여 잔향실에서 흡음특성을 측정하였다. 이상의 측정결과를 바탕으로 흡음성능이 우수한 4가지 내막재료에 대하여 내막재료와 외막재료 사이 공기층의 변화에 따른 흡음특성 변화를 조사하기 위하여 공기층을 300~900 mm까지 300 mm 간격으로 증가하며 흡음특성을 측정하였다. 또한, 막 재료의 설치위치에 따른 공기층의 유무에 의한 변화를 조사하기 위하여 외막 표면의 그라스울의 설치 유무에 대한 수직입사 흡음특성을 임피던스 튜브를 활용하여 측정방법 KSF 2814-2:2002⁽⁴⁾이용하였다.

2.2 공기투과도 측정

다공질 흡음재료는 공기의 흐름저항이나 공기투과도가 흡음특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

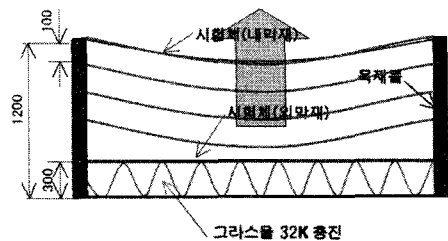
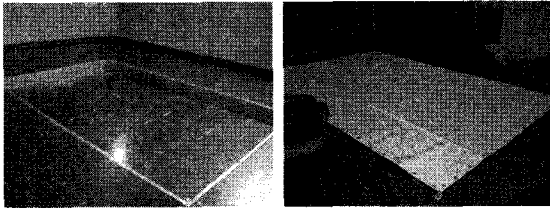
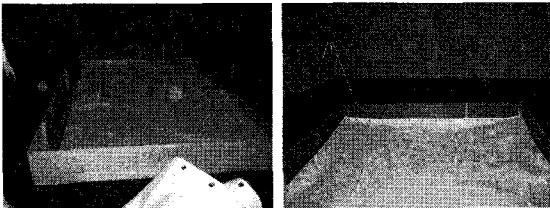


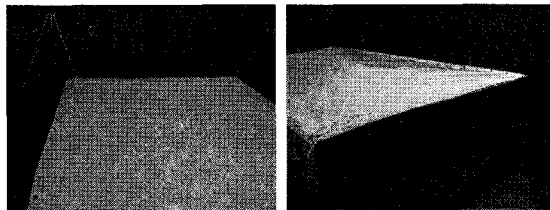
Fig. 1 Section of the test specimen installed for the measurement of absorption coefficient in the reverberation chamber



(a) Empty reverberation chamber and outer layer PTFE membrane material



(b) Glass wool for the simulation of air absorption and installation of PTFE membrane material on the glass wool



(c) Installation of inner PTFE membrane material

Fig. 2 Installation process of PTFE membrane material for the measurement of sound absorption coefficient in the reverberation chamber

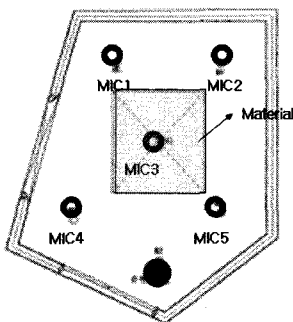
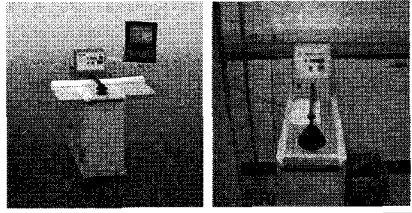


Fig. 3 Measurement rayout of sound absorption coefficient in the reverberation chamber

막 재료는 섬유재료이므로 공기투과도에 따른 흡음 특성의 변화를 조사하였다. 내막재료의 공기투과도는 Table 1과 같은 사양의 디지털투과도측정기를 사용하여 측정하였다.

Table 1 Specification of air permeability test instrument

Specification	Measurement range : 0.03~30 cc.cm Test piece Breathing hole : 70 mm(38.5 cm) Test piece pressure : 12.7 mmAq (Max. 100 mmAq) About seizure control : ± 0.3% of ± 1 digit
Photo	

공기투과도의 측정은 KS K 0570:2001⁽⁶⁾, ISO 9237에 따라 실시하였다. 공기투과도 측정을 위해 우선 시험체를 원형의 홀더에 평평하게 설치한 후, 공기가 새지 않도록 막고 압력을 50, 100, 200, 500 Pa로 점차적으로 증가시키고 압력이 떨어질 때까지 기다린다. 위와 같은 과정을 10회 이상 반복하여 다음 식으로 계산한다.

$$R = \frac{\bar{qv}}{A} \times 167$$

R : Air permeability(cc/cm²/s)

\bar{qv} : Arithmetic mean flow rate of air(m³/min)

A : Area of fabric under test(cm²)

3. 흡음특성 측정결과

막 재료의 흡음률의 3가지 측정분석방법에 의한 측정 분석결과는 다음과 같다.

3.1 막 재료 배후의 공기층 유무에 따르는 흡음특성

막 구조는 설치구조 또는 설치 위치에 따라 배후의 공기층이 형성되지 않은 경우가 있다. 이와 같이 막 재료 배후의 공기층 유무에 따른 흡음특성 변화를 조사하기 위하여 임피던스관에 외막과 내막재료를 각각 설치하고 공기흡음 효과를 모사하기 위한 그라스울을 막 재료 배후에 설치한 유무에 따라 전달함수법으로 수직입사 흡음률을 측정하였다. 이때 막 재료 배후의 공기층은 100~300 mm로 하여 측정하였다.

흡음률의 측정결과 Fig. 4에서와 같이 내·외 막 재료의 배후공기층이 증가할수록 흡음능력이 증가하지만 Fig. 5에서와 같이 밀폐된 공간에서 반사음의 영향으로 저음과 중주파수 대역에서 흡음능력이 불규칙하게 나타났다. 또한 공기층 대신 그라스울을 충전한 경우 전주파수 대역에서 흡음특성이 평탄해지고 저주파 대역의 흡음률이 고르게 증가되는 것으로 나타났다.

3.2 내막재료 흡음성능과 공기투과도

막 구조가 설치되는 경기장 내부의 음향상태를 제어하기 위해서는 경기장 내부에 노출되는 내막재료의 흡음성능을 제어할 수 있어야 한다. 이를 위해 16종의 내막재료에 대하여 잔향실에서의 난입사 흡음계수를 측정하여 비교하였다. 내막재료는 면밀도에 따라 $250\text{ g/m}^2 \pm 50$ 과 $500\text{ g/m}^2 \pm 100$ 두 가지 종류로 공기투과도가 서로 다르게 구성하여 250 g/m^2 내막

재료는 6종, 500 g/m^2 내막재료 10종을 대상으로 하였다. 흡음계수의 측정은 내막재료에 공기층 100 mm를 두고 측정하였다. Fig. 6은 면밀도 250 g/m^2 내막재료의 공기투과도 변화에 따른 흡음계수 측정결과를 나타내는 것으로 공기투과율이 낮거나 $40\text{ cc/cm}^2/\text{s}$ 이상인 경우 흡음능력이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. Fig. 7은 면밀도 500 g/m^2 인 내막재료의 흡음계수 측정결과를 나타낸 것으로 면밀도 250 g/m^2 인 내막재료의 경우와 유사하게 공기투과율이 $1\text{ cc/cm}^2/\text{s}$ 이하 그리고 $40\text{ cc/cm}^2/\text{s}$ 이상인 경우 상대적으로 낮은 흡음성능을 갖는 것으로 나타났다.

내막재료의 면밀도 변화에 따라 Figs. 6, 7에서와 같이 다른 특성을 갖는 것으로 나타났다. 면밀도가 낮은 내막재료는 Fig. 6에서와 같이 저주파대역의 흡음률이 높고 고주파 대역이 낮은 특성을 갖고 있지만 면밀도가 높은 내막재료는 Fig. 7에서와 같이 전주파수 대역에서 고른 흡음특성을 갖는 것으로 나

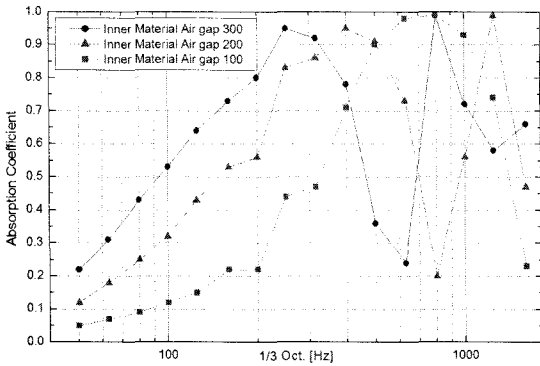


Fig. 4 Normal incidence absorption characteristics of inner material

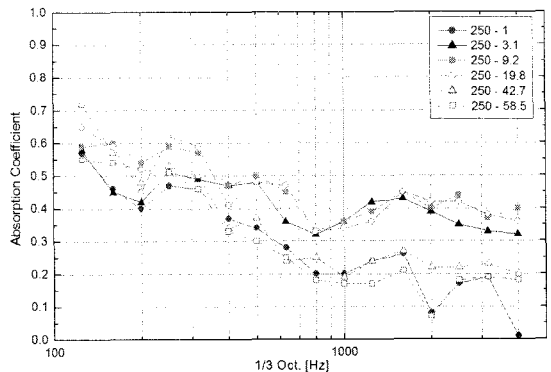


Fig. 6 Sound absorption coefficient of 250 g/m^2 inner membrane materials

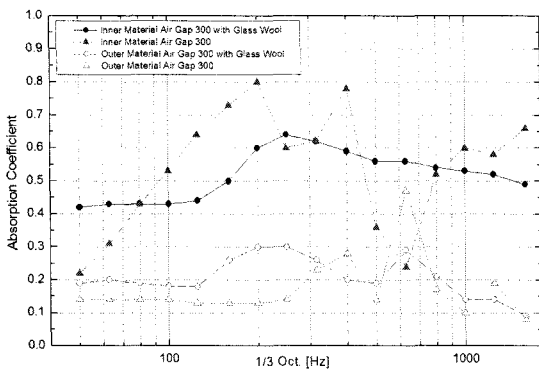


Fig. 5 Normal incidence absorption characteristics of inner and outer material

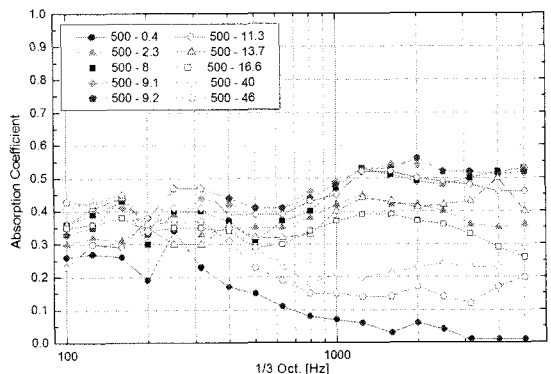


Fig. 7 Sound absorption coefficient of 500 g/m^2 inner membrane materials

타났다. 이는 막 재료의 밀도변화에 따라 판진동형 흡음현상이 발생하는 주파수 대역이 변화되어 발생하는 현상으로 판단된다.

내막재료의 각 주파수(100~5,000 Hz) 1/3옥타브 대역 평균흡음률은 Table 2에 공기투과도와 함께 정리하였다. 또한 공기투과도 변화에 따른 내막재료 평균흡음률과의 상관관계를 조사하기 위하여 회귀분석을 실시하여 Fig. 8에 나타내었다.

회귀분석 결과($r=0.96$) Fig. 8에서와 같이 평균흡음률이 0.4 이상으로 양호한 공기투과도의 범위는 4~18 cc/cm²/s로 나타났다. 면밀도 차이에 따라 가장 높은 평균흡음률을 갖는 공기투과도 범위의 차이는 없는 것으로 나타났다. 면밀도 250 g/m² 막 재료나 500 g/m² 막 재료 모두 공기투과도가 6~9 cc/cm²/s 일 때 평균흡음률이 가장 높게 나타났다.

3.3 PTFE 막 재료 흡음성능

(1) 외막재료와 내막재료의 흡음률 비교

내막재료와 외막재료의 흡음성능 비교를 위해 배

Table 2 Average sound absorption coefficient with air permeability of inner membrane materials

Areal density	250 g/m ²						500 g/m ²	
Air permeability [cc/cm ² /s]	1	3.1	9.2	19.8	42.7	58.5	0.4	2.3
Average absorption coefficient	0.29	0.42	0.47	0.46	0.35	0.30	0.13	0.37
Areal density	500 g/m ²							
Air permeability [cc/cm ² /s]	8	9.1	9.2	11.3	13.7	16.6	40	46
Average absorption coefficient	0.45	0.43	0.45	0.41	0.38	0.34	0.3	0.25

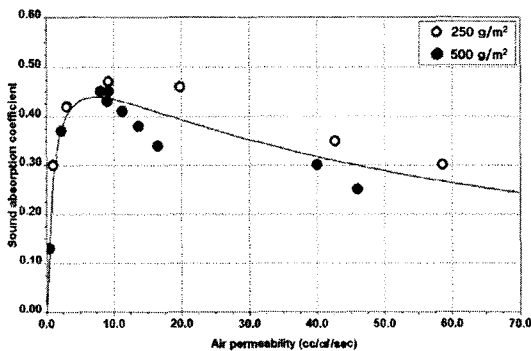


Fig. 8 Relationship between average sound absorption coefficient with air permeability of inner membrane materials

후공기층이 100 mm인 경우 평균흡음률이 0.4 이상인 내막재료와 외막재료 세가지의 흡음률을 비교하여 Fig. 8에 나타내었다. 외막재료의 평균흡음률은 각각 0.06, 0.13, 0.15로 낮게 나타났으며, 내막재료의 평균흡음률은 각각 0.45, 0.43, 0.45, 0.41로 나타났다.

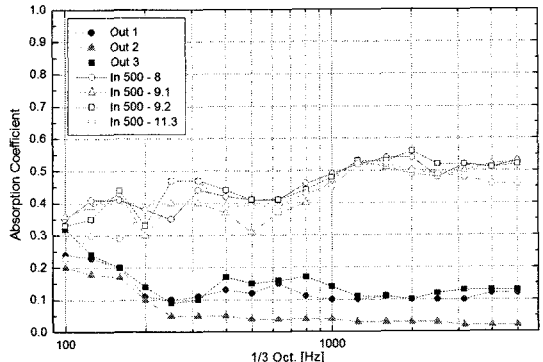
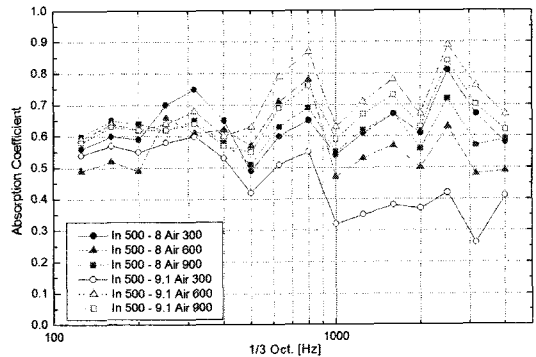
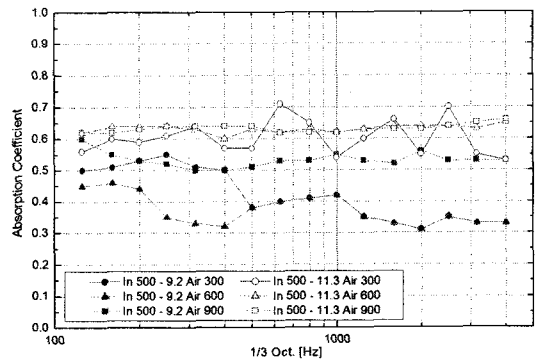


Fig. 9 Sound absorption coefficient of outer and inner membrane materials



(a) Air permeability 8 and 9.1



(b) Air permeability 9.2 and 11.3

Fig. 10 Sound absorption coefficient variation as increasing air gap behind the specimens

Fig. 9에서와 같이 외막재료의 평균흡음률은 0.11로 일반적인 음향반사판의 흡음성능⁽⁶⁾과 유사한 것으로 나타났다. 내막재료의 평균흡음률은 0.44로 록울 치장 흡음판, 흡음용 타공 석고보드와 같은 흡음구조의 흡음성능과 유사한 것으로 나타났다.

(2) 배후공기층 변화에 따른 흡음률 변화

공기층 변화에 따른 흡음률 변화를 조사하기 위하여 500 g/m²인 내막재료의 흡음특성이 0.4 이상인 4가지 막 재료를 대상으로 배후공기층을 300 mm, 600 mm, 900 mm로 변화시키면서 흡음률을 측정하였다. 흡음률의 변화는 Fig. 10에서와 같이 배후공기층이 900 mm인 경우 125~4,000 Hz 범위에서 안정적으로 측정되었다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이 공기층이 300 mm인 경우의 흡음률은 중·고음역에서의 흡음특성이 0.3~0.5 사이에서 불규칙적으로 나타났다. 배후의 공기층이 600 mm 이상 되면 진주파수 대역에서 흡음률이 0.5 이상으로 나타내고 있으며 주파수 대역별 편차가 감소되었다. 배후 공기층이 900 mm로 증가할 경우 주파수 대역별 흡음특성이 안정되고 편가도 감소되는 것으로 나타났다.

이상의 결과에서와 같이 경기장 등의 음장 조절을 위해 흡음 내막을 설치하는 경우 600 mm 이상의 배후 공기층을 확보해서 설치해야 주파수 대역별로 안정된 흡음성능이 나타나는 것으로 판단된다.

4. PTFE 내막재료 적용

막 재료의 흡음성능을 평가하기 위하여 잔향실에서 실제 막 재료의 사용조건과 유사한 환경을 만들어 평가하였으나 실제 막 재료 사용조건과는 다소 차이가 발생할 수 있다. 흡음성능이 있는 내막구조가 실제 공간에 적용되었을 경우의 음장제어 성능을 검증하기 위하여 실내 체육관 천장에 흡음내막구조를 설치하여 검증하였다.

흡음내막의 흡음성능 검증을 위한 실내체육관의 일반제원은 Table 3과 같다. 흡음내막의 음장조절 성능을 검증하기 위하여 실내체육관 천장에 흡음내막 설치하기 전과 후의 잔향시간과 음성명료도(RASTI, rapid speech transmission index)를 측정하여 비교하였다.

흡음내막 설치 전후의 음향성능 측정을 위해 실내 체육관내 25개 지점의 1.2 m 높이에서 음향성능을 측정하였다. 실내체육관의 형태는 Fig. 10의 평면도와 같이 좌우 대칭으로 되어있어 우측면에서만 음향성능을 측정하였다. 음향성능 측정 기준은 ISO 3382⁽⁷⁾, KS F 2864⁽⁸⁾를 기준으로 흡음내막 설치 전후 동일한 장소에서 측정하였다. Table 4는 체육관 각 부위의 측정지점 분포를 나타낸다.

Table 3 General specification of gymnasium for the measurement of acoustical performance of sound absorptive membrane material

Seat	Ground	1,913 m ²	6,200seat
	Chair	2,174 m ²	
Area	Total	12,169 m ²	
Volume		85,684 m ³	
Ceiling high		17 m	

Table 4 Measurement position and number of points

Location	Receiving points
Ground	5 points
Movable type seat	4 points
2Floor	8 points
3Floor	8 points
Total	25 points

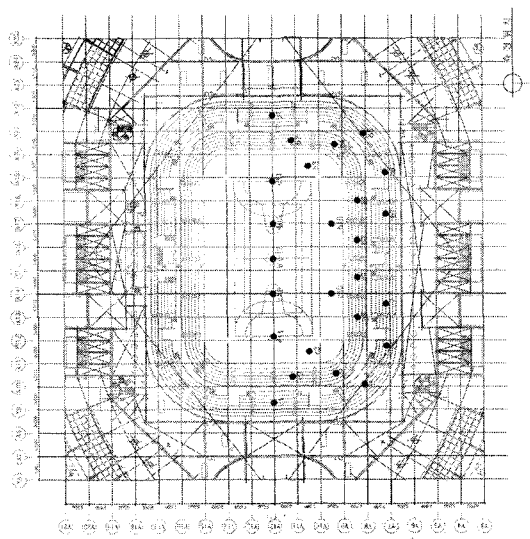


Fig. 11 Floor plan of gymnasium and sound measurement positions

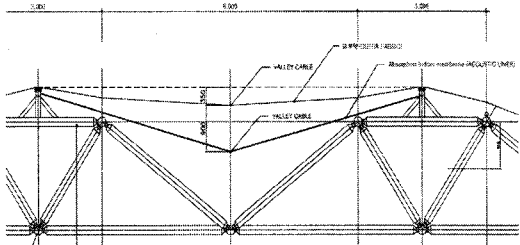
Fig. 12는 실내체육관에 설치한 흡음내막과 외막의 구조와 상세를 나타낸 것이다. 기존의 외막이 설치된 실내체육관 천장에 음향조절을 위해 흡음내막 재를 추가로 설치한 것으로 외막과 흡음내막과의 공간은 최대 900 mm가 되도록 설치하였다. Fig. 13은 흡음내막 설치 전후의 모습을 나타낸 것이다.

흡음내막구조 설치 전후의 음향상태 개선을 확인하기 위하여 잔향시간을 측정하여 25개 지점에서의 평균 값을 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 14에서와 같이 흡음내막재료를 설치함에 따라 500 Hz 대역에서의 잔향시간이 4.01초에서 1.90초로 약 2.11초 감소되었다.

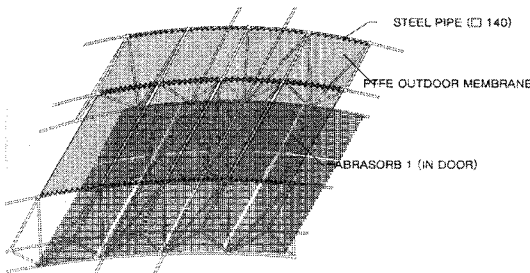
흡음내막을 설치할 경우 실내체육관의 사용용도와

용적을 고려하여 제안된 적정잔향⁽⁹⁾시간 기준보다 낮은 잔향시간을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 흡음내막이 설치된 실내체육관은 운동경기뿐만 아니라 록음악 공연 등 다목적으로 활용될 수 있다.

경기장과 같은 대공간의 실내에서 가장 중요한 음향요소로는 잔향시간과 함께 음성명료도가 가장 중요하게 평가되고 있다. 음성명료도는 사람 또는 스피커를 통해 전달되는 음성이 객석에서 얼마나 정확히 전달되는지를 평가하는 지표로 D50, STI, RASTI 등이 활용되고 있다. 이 연구에서는 음성명료도 개선을 평가하기 위하여 흡음내막구조 설치 전후의 RASTI (rapid speech transmission index)를 측정하였다. 측정결과 Fig. 14에서와 같이 흡음내막 설치전에는 0.43으로 권장기준 0.6보다 상당히 낮은 것으로 평가되었으나, 흡음내막 설치 시 평균 0.61로 권장기준을 만족하는 것으로 나타났다. 음향특성 측정은 객석이



(a) Ceiling detail for the installation of sound absorptive inner membrane material



(b) Isometric drawing of sound absorptive membrane structures

Fig. 12 Sound absorptive membrane structures

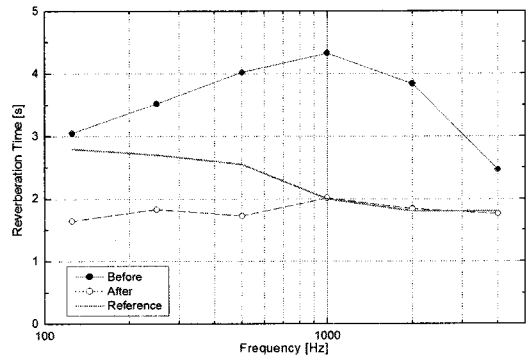
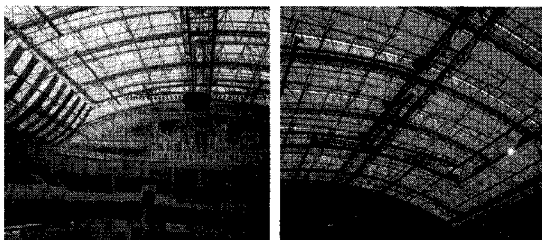


Fig. 14 Average value of reverberation time before and after the installation of sound absorptive membrane material



(a) Before (b) After

Fig. 13 Before and after installation of sound absorptive membrane material

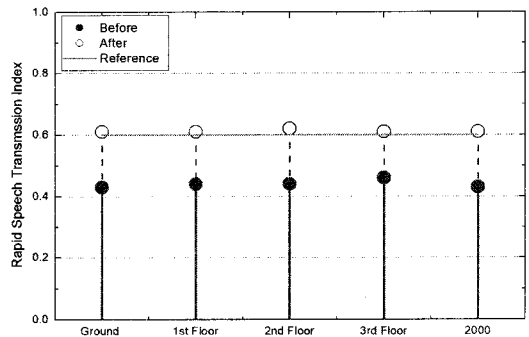


Fig. 15 Average value of RASTI before and after the installation of sound absorptive membrane material

모두 비어있는 조건에서 측정한 것으로 실제 경기장의 운용 시 객석이 관객으로 채워질 경우 보다 명료한 음성전달이 가능할 것으로 판단된다.

대한 연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한 대규모 다목적 돐 경기장 등의 음향설계 기준 등도 수립되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

참 고 문 헌

PTFE 막 재료의 흡음성능 평가를 위해 실제 막 재료 설치 구조를 고려하여 잔향실에서의 흡음성능을 평가하였으며 실제 사용조건에서의 흡음성능을 검증하였다.

막 재료의 흡음률 측정 시 외막 배후공기층의 그라스울 설치 유무에 따라 주파수별 흡음특성이 다르게 나타남을 알 수 있었으며, 막 재료의 흡음률 측정시 배후 공기흡음 특성이 반드시 고려되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

공기투과도별로 내막재료의 흡음률을 측정된 결과 내막재료의 양호한 투과도의 범위는 4~18 cc/m²/s 까지 이고 흡음률이 최고 일 때는 6~9 cc/m²/s에서 가장 좋음을 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

공기투과도 측정 시 시료의 면밀도에 따라 주파수 대역별 흡음특성이 변화되는 것으로 나타났다. 면밀도가 250 g/m²인 내막재료의 흡음특성은 저음역(125~250 Hz)에서 높은 것으로 나타났으며, 면밀도가 500 g/m²인 막 재료는 전주파수 대역에서 고른 흡음특성을 갖는 것으로 나타났다.

내막재료의 흡음률을 측정된 결과 외막에 흡음내막을 설치 시 최소한 배후공기층이 최소 600 mm 정도가 되어야 전체적으로 흡음률이 전주파수대역에 걸쳐서 0.5이상으로 안정되어 양호함을 알 수 있었다.

PTFE 흡음내막의 흡음성능 검증을 위해 실제 실내 경기장에 설치하여 잔향시간 및 음성명료도(RASTI)를 평가한 결과, 잔향시간은 4.01초에서 1.90초로 낮아졌고 음성명료도는 0.43에서 0.61로 증가되어 흡음내막의 흡음성능을 확인할 수 있었다. 이상의 결과는 이전의 경기장에서의 막 구조 적용에 관한연구 결과⁽¹⁰⁻¹²⁾에서도 흡음 내막 구조의 흡음효과가 확인되어 대규모 공간에서의 음장제어를 위해 흡음 내막 구조가 효과적인 것으로 나타났다.

이 연구에서 경기장 및 대규모 실내 공간 건설을 위해 사용되고 있는 막 재료의 음향특성을 평가를 위한 방법을 고안하여 적용하였으나 향후 막 재료의 사용조건을 고려한 표준화된 음향특성 측정방법에

(1) KS F 2805:2004, "Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room".

(2) ISO 9237:1995, Textiles - Determination of the Permeability of Fabrics to Air.

(3) ASTM D 737:2004, Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics.

(4) KS F 2814-2:2002, "Acoustics-determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes-Part 2: Transfer-function Method".

(5) KS K 0670:2006, "Determination of the Permeability of Textile Cloth to Air".

(6) JAMO, 1982, "Noise & Vibration Hand Book", Kibodang Press.

(7) ISO 3382:1997, Acoustics - Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to Other Acoustical Parameters.

(8) KS F 2864:2002, "Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to the other Acoustical Parameters".

(9) Metha, M., 1999, "Architectural Acoustics: Principles and Design", Prentice-Hall, New Jersey.

(10) Kim, J. J., Shon, J. R., 2005, "A Study on the Acoustical Characteristics of Pistol Impulse and MLS Source Measurements in Room Types", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 320~328.

(11) Kim, J. J., Shon, J. R., 2005, "In Teflon Acoustic Measuring of the Multipurpose Grounds that have Structure Membrane Analysis Research" Proceedings of the AIK 2005 Annual Conference. Vol. 25, No. 1, pp. 3~6.

(12) Park, H. N., Kim, J. J. and Shon, J. R., 2005, "Analyzing the Characteristics of Architectural Acoustic for an Open Air Performance Hall with the Membrane Structure", Proceedings of the KSNVE Autumn Annual Conference, pp. 649~653.